

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências da Saúde

Instituto de Biologia

Departamento de Biologia Marinha

COMPARAÇÕES DE ESTIMATIVAS DE BIOMASSA DE COPÉPODES
REALIZADAS UTILIZANDO EQUAÇÕES PESO-COMPRIMENTO COM
DIFERENTES GRAUS DE ESPECIFICIDADE

João Felipe Leal Kaiuca

Rio de Janeiro,

Agosto de 2018

João Felipe Leal Kaiuca

Comparações de estimativas de biomassa de copépodes realizadas utilizando equações peso-comprimento com diferentes graus de especificidade.

Monografia apresentada ao Departamento
de Biologia Marinha para obtenção do
Diploma de Biólogo – Habilitação
Bacharelado em Biologia Marinha –
Instituto de Biologia - UFRJ

Rio de Janeiro,

2018

Esta monografia foi elaborada no Laboratório de Ecologia Trófica, perante a orientação da Prof. Dra. Gisela Mandali de Figueiredo.

Orientadora: Gisela Mandali de Figueiredo

Instituto de Biologia e Laboratório de Ecologia Trófica

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

KAIUCA, João Felipe Leal.

Comparações de estimativas de biomassa de copépodes realizadas utilizando equações peso-comprimento com diferentes graus de especificidade. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Marinha, 2018.

1. Copepoda 2. Zooplâncton 3. Biomassa 4. Regressões Peso-Comprimento 5. Ecologia Trófica

Agradecimentos

Agradeço a todos que fizeram parte dessa jornada, querendo ou não. Em especial aos meus grandes amigos da 2011.1: Elisabeth, que não desistiu de mim nem quando eu já tinha desistido. André, Bruno e Alice, que me trouxeram mais risadas e mates do que eu imaginei ser possível no início dessa batalha (E a ao tio do Mate, por tabela). Camila, minha companheira de mergulho e parceira de biomar. Keller, Hudson, Karen, Du, Ana Banana, Birrer, e muitos outros que seriam impossíveis de serem listados, muito obrigado pela amizade e carinho. Amanda, que me ensinou a ser um ser humano melhor, muitas vezes em detrimento próprio.

Minha família, apesar de todas as brigas e reconciliações, que foram minha base para chegar até aqui, em especial: Minha mãe, cuja a paciência só pode ser descrita como de mãe. Meu pai, cuja paciência é menor, mas o carinho não. Minha madrinha, cuja paciência é menor ainda. Meu primo (irmão) Léo. Meu irmão, PO, embora a contra gosto. Meus tios Nelson, Marcus, Fátima e meu primo Matheus, que apesar de não serem de sangue significam mais que muitos laços genéticos. E meus avós Milton, Roberto e Lem, que infelizmente não estão mais aqui para ver este agradecimento, e minha avó Marlene que felizmente está.

Aos meus colegas de laboratório, cuja amizade e companheirismo me acompanharam durante todo esse trabalho, em especial: Vivi, Nívea, Pedro e Raquel.

Aos meus amigos do Pedro II: Fred, Zé, Zito, Kadoo, Billy, Luisa, Dargains, Octavio e muitos outros que me acompanham há mais de dez anos.

À minha segunda família: Irmãos Barros, Leonardo Oliveira, Hugo, Xyuri, Juan Colombiano e Vito. Em especial JJ, meu irmão de outra mãe, e sua mãe família: Luciana, Luís e Lucy.

À minha namorada, Barbara Lane, que vem me ensinando a ser gente e que é possível sim encontrar o amor no tinder. Obrigado pelo apoio, carinho, paciência e não me defenestrar mesmo nos meus piores dias.

Por fim, à minha orientadora, Gisela, que, mesmo antes de assumir esse fardo que só pode ser descrito como pesado que é me orientar, já me apoiava e ajudava como podia e, às vezes, como não podia também. Desculpe o transtorno e obrigado por tudo.

Resumo

Diversas regressões peso-comprimento foram selecionadas na literatura para copépodes de duas ordens (Calanoida e Cyclopóida) presentes na Baía de Guanabara em três graus de especificidade: Geral (Uma equação para todas as espécies de copépodes), Ordem (Uma equação para cada ordem) e Específica (Uma equação para cada espécie ou nível taxonômico mais próximo). Essas equações foram utilizadas para estimar o peso seco de amostras de copépodes coletadas em ponto fixo na Baía de Guanabara em diversas datas (N=29). As estimativas geradas por cada grau de especificidade foram então comparadas entre si através de análise de variância de medidas repetidas, afim de verificar diferenças entre elas. Houve diferença significativa entre as três estimativas da ordem Cyclopoida, indicando que a escolha da equação pode gerar estimativas diferentes de biomassa com uma mesma amostra. As estimativas de peso da ordem Calanoida tiveram diferenças em algumas classes de tamanho, mas para o peso total da amostra os graus de especificidade Ordem e Específica não apresentaram diferenças significativas, porém duas espécies (*Acartia tonsa* e *Temora turbinata*) parecem ser sub ou superestimadas pela equação de ordem utilizada nesse trabalho, o que pode representar problemas em casos de amostras com dominância de uma dessas espécies.

Abstract

Various length-weight regressions were selected from the literature for copepods from two orders (Calanoids and Cyclopoids) present in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, in three degrees of specificity: General (One equation for all copepod species), Order (One equation for each order) and Specific (One equation for each species or closest taxonomic level). These equations were used to estimate the dry weight of copepod samples collected in the same station in Guanabara Bay in 29 expeditions. The estimates generated by each specificity degree were then compared using a repeated measures variance analysis, in order to verify the differences between them. There were found significant differences between the three estimates, which indicates that the choice of equation may generate different estimates of biomass in the same sample. Significant differences between the weight estimates for the Calanoida order were found in some size classes, but for the total weight of the sample there was no significant differences found between the Order and Specific approaches, even though two species (*Acartia tonsa* and *Temora turbinata*) appear to be sub or super estimated by the Order regression used in this research, which can represent problems in samples dominated by one of these species.

Lista de Figuras e Tabelas

Figura 1 Fotografia da espécie *Acartia tonsa* indicando medida do comprimento do prossoma.

Figura 2 Média do peso estimado das diferentes classes de tamanho amostradas pelas redes de 64 e 200 μ m.

Figura 3 Médias das estimativas de peso de diferentes classes de tamanho da ordem Calanoida usando as equações específica, geral e de ordem. As barras de erro indicam o Erro Padrão.

Figura 4 Média das estimativas do peso total das amostras e de duas classes de tamanho da ordem Calanoida, feitas usando as equações específica, geral e de ordem. As barras de erro indicam o Erro Padrão

Figura 5 Média das estimativas do peso total das amostras e das diferentes classes de tamanho da ordem Cyclopoida, feitas usando as equações específica, geral e de ordem. As barras de erro indicam o Erro Padrão.

Figura 6 O peso estimado total de cada amostra demonstra as diferenças entre as três equações na ordem Cyclopoida, especialmente nas datas em que há maior densidade de indivíduos desse clado (7, 8, 9, 10, 16, 17, 19 e 21).

Figura 7 Dados extraídos de Ara 2001 de diferentes espécies de copépodes. preal=peso real dos espécimes, comp=comprimento real dos espécimes, esp=peso estimado usando a equação específica, ger= peso estimado usando a equação geral, ord= peso estimado usando a equação de ordem. As equações de ordem e a geral geram resultados próximos aos reais na maioria das espécies, salvo *Temora turbinata* e *Acartia tonsa*.

Figura 8 Peso estimado pelas equações específica, geral e de ordem de todas as espécies da ordem Calanoida coletadas em 29 datas. A data 18 teve dominância da espécie *Temora turbinata* e a data 25 teve dominância da espécie *Acartia tonsa*.

Tabela 1 Equações peso-comprimento selecionadas da literatura, seu grau de especificidade e referência. PS=Peso Seco, CP=Comprimento do Prossoma, ln=Log Natural.

Tabela 2 Resultados da Anova comparando os pesos estimados pelas diferentes equações em cada classe de tamanho, bem como para o peso total das amostras, das ordens Calanoida, Cyclopoida e para todos os Copépodes. Resultados em **negrito** são significativos Indicam $p < 0,005$. Resultados com “*” são de amostras sem distribuição normal e devem ser vistos com cautela. A classe 600-800µm de Cyclopoida não foi testada, pois não tinha normalidade nem passou no teste de Levene, mesmo logaritimizada.

Tabela 3 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para a ordem Calanoida. Resultados em **negrito** indicam $p < 0,05$. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Tabela 4 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para a ordem Cyclopoida. Resultados em **negrito** são significativos. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Tabela 5 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para Todos os Copépodes amostrados. Resultados em **negrito** são significativos. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Lista de Siglas

Sumário

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS	
INTRODUÇÃO	
OBJETIVOS	
MATERIAIS E MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSSÃO	
CONCLUSÕES	
RECOMENDAÇÕES	

Introdução

A caracterização de teias tróficas vem sendo considerada um primeiro passo para o entendimento dos ecossistemas (Leal & Ferrier-Pagès, 2016). Porém, estudos sobre as teias tróficas marinhas ainda são escassos, devido a fatores como grande número de espécies e suas interações, sendo ainda mais escassas em ambientes tropicais (Leal & Ferrier-Pagès, 2016, Sardenne et al., 2017). A maioria dos estudos publicados para teias marinhas não apresenta o nível de detalhamento de teias dulcícolas ou terrestres, ou se limitam a ambientes estuarinos e costeiros (Link, 2002).

O estudo da transferência de energia entre os diferentes níveis tróficos é essencial para o entendimento da ecologia trófica nos oceanos (Suchy et al., 2016). O bom entendimento desses fluxos pode ser usado para visualizar os impactos pesqueiros, mudanças ambientais como aquecimento global e introdução de poluentes (e.g. biomagnificação) (Sardenne et al., 2017). Informações sobre taxas de produção do zooplâncton são importantes para o entendimento da matéria e energia que está sendo transferida dos produtores (produções fitoplanctônica e/ou bacteriana) para os níveis tróficos mais altos (Suchy et al., 2016). Taxas de produção são estimadas usando duas variáveis chaves: biomassa e taxas de crescimento, ambas problemáticas de se medir ou estimar com precisão (Huntley & Lopez, 1992), pois o tamanho diminuto destes organismos dificulta uma medição direta (Ara, 2001), o que é refletido no número relativamente pequeno de trabalhos publicados que estimam ou determinem a biomassa das espécies zooplanctônicas estudadas.

Modelos matemáticos, como o clássico modelo predador-presa de Lotka-Volterra, são ferramentas importantes no estudo das teias tróficas e seus fluxos

energéticos, uma vez que permitem observar e prever como populações, ou compartimentos tróficos, se comportam e interagem entre si ao longo do tempo de forma barata e rápida, ainda que indiretamente (Libralato et al., 2006). Um modelo bem calibrado pode estimar esses dados com precisão, servindo de alternativa aos caros e laboriosos experimentos em laboratório (Libralato et al., 2006). Dados de biomassa e taxas de crescimento podem ser usados para, junto com dados abióticos, gerar um desses modelos, como o simples NPZ (Nutriente-Fitoplâncton-Zooplâncton), ferramenta importante nos estudos oceanográficos para descrever a dinâmica planctônica (Franks, 2002).

Modelos são a manifestação matemática de uma hipótese (Franks, 2002), e os dados que os alimentam são a base para a construção de hipóteses que possam gerar previsões quantitativas sobre a estrutura e dinâmica de comunidades aquáticas (McCauley, 1984, Bird & Prairie, 1985). Estes modelos irão prever como variáveis específicas mudam com o tempo e a performance deste o vai variar de acordo com a escolha das variáveis que o alimenta bem como a escolha de funções matemáticas que representam os processos que afetam essa variável com o tempo (Leles et al., 2016), como por exemplo a taxa de predação de uma espécie sobre a outra.

No caso de um modelo planctônico essas variáveis podem descrever a quantidade de nutrientes e a biomassa de espécies ou grupos funcionais. Então é necessário que ecólogos revisem e aprimorem com frequência as técnicas de estimativa dessas variáveis (McCauley, 1984), isso porque para o bom funcionamento de um modelo ecossistêmico é necessário que a biomassa do maior número possível de espécies sejam estimadas com precisão (Chisholm & Roff, 1990). Um modelo bem calibrado deve evitar a sub- ou superestimava da influência

de uma espécie ou de um compartimento trófico sobre as outras, como por exemplo, a pastagem do fitoplâncton pelo zooplâncton pode ser estimada de forma errada se a biomassa de cada nível não for calculada com acurácia.

Há provavelmente mais copépodes que insetos no mundo (Shcminke, 2007), sendo considerados os mais importantes metazoários marinhos em termos de abundância e biomassa (Hopcroft et al., 1998, Myashita et al., 2009). Por conta dessa abundância eles apresentam papel fundamental nas teias tróficas, funcionando como elo entre produtores primários e a cadeia microbiana e os níveis tróficos superiores (Turner, 2004, Myashita et al., 2009).

O estudo de organismos tão pequenos (em média entre 100-2000µm) não é uma tarefa simples. Medir ou estimar a biomassa com precisão é uma tarefa trabalhosa devido a dificuldades de isolar os espécimes de outros materiais da amostra (detritos e outros organismos) e pesar o material individualmente (Ara, 2001). Embora existam diversos meios para se estimar biomassa zooplanctônica como gravimetria, métodos químicos ou volumétricos (Ara, 2001), a técnica mais comum estima a biomassa através de relações peso-comprimento disponíveis na literatura (Bird & Prairie, 1985). Essas relações são uteis porque nos permitem calcular a biomassa de espécies, ou agregados de espécies, de forma fácil e rápida (Chisholm & Roff, 1990), ainda que indiretamente.

Regressões peso-comprimento são calculadas medindo e pesando indivíduos, ou grupos de indivíduos de tamanhos parecidos, e plotando esses dados, seguindo variações da fórmula de Bird & Prairie, 1985:

$$\ln P = (b \times \ln C) + \ln a + QMS/2$$

Onde P é o peso (μg), b é o declive da reta, C é o comprimento do Prossoma (Figura 1), a é a constante de proporcionalidade e QMS é o Quadrado Médio dos resíduos.



Figura 1 Fotografia da espécie *Acartia tonsa* indicando medida do comprimento do prossoma.

O uso dessas equações assume que o erro embutido nelas seja pequeno em relação a outros inerentes a amostragem, manipulação e, contagem (McCauley, 1984). A escolha da equação mais acurada dentre as disponíveis na literatura não é trivial, uma vez que variações na composição específica, disponibilidade de alimento e temperatura influenciam a relação peso-comprimento de uma espécie (Chisholm & Roff, 1990; Hoffmeyer & Torres, 2001): por exemplo, em locais com grande amplitude climática ao longo do ano, animais podem ter estruturas de reserva em algumas estações, o que mudaria a relação peso-comprimento da espécie.

Embora esses problemas sejam menos acentuados em locais tropicais devido à relativa estabilidade climática (Chisholm & Roff, 1990), esta abordagem pode não ser recomendada para áreas ou estações do ano diferentes daquelas em que a regressão original foi calculada (Hoffmeyer & Torres, 2001). Outra limitação destas equações é relacionar apenas uma dimensão (i.e. comprimento) com o peso. Assim a forma do corpo dos copépodes é, geralmente, negligenciada nas equações peso-comprimento. Consequentemente, as equações gerais incluindo várias espécies e gêneros podem ter também um erro associado maior quando se estima o peso de gêneros com planos de corpo muito distintos (i.e. *Temora* x *Oithona*).

Neste trabalho serão testadas diferenças em estimativas de biomassa de copépodes com base em regressões de peso-comprimento disponíveis na literatura em diferentes graus de especificidade (i.e. espécie-específica, ordem-específica e gerais), a fim de verificar se as equações geram resultados similares o que possibilitaria o uso apenas das equações gerais, aliviando o esforço de identificação e medição de diferentes espécies e evitando a seleção ou cálculo de equações determinadas para cada uma delas, ou, se há diferenças significativas entre os métodos, o que justificaria o cálculo e uso de equações específicas. Para isso foi utilizado um banco de dados de medidas de copépodes coletados na Baía de Guanabara com redes de 64 e 200µm ao longo de um ano.

Objetivos

- Comparar as estimativas de pesos de amostras de copépodes coletados na Baía de Guanabara, utilizando regressões peso-comprimento com três graus de especificidade (Geral, Ordem e Específica).
 - Verificar se há diferenças entre as estimativas de peso total da amostra.

- Verificar se há diferenças entre as estimativas de peso em diferentes classes de tamanho.

Hipótese

Deve haver diferenças significativas entre as equações, principalmente entre a geral e as específicas, por aglutinarem maior número de variações nos planos de corpo em uma única equação na geral e as específicas serem a soma de equações individuais.

Além disso, deve haver mais diferença entre as estimativas nos indivíduos de maior tamanho, uma vez que o peso do indivíduo cresce de forma exponencial em relação ao comprimento, as diferenças entre as equações também devem se comportar dessa forma.

Materiais e Métodos

O material utilizado para as análises foi oriundo do laboratório de Ecologia trófica – IB / UFRJ. Amostras de zooplâncton foram obtidas através de coletas realizadas entre 17 de Novembro de 2011 e 25 de Fevereiro de 2013 (N = 29) em ponto fixo no canal central da Baía de Guanabara. As coletas foram realizadas através de arrastos verticais utilizando redes cônicas com abertura de malha de 64 e 200µm com fluxômetro acoplado. As amostras foram imediatamente fixadas com formol 4% tamponado com tetraborato de sódio. Os copépodes das amostras foram identificados ao menor nível taxonômico possível e contados. Aproximadamente 50 indivíduos tiveram o prossoma e largura medidos através de uma câmera acoplada no estereomicroscópio e um programa para análise de imagem (*Axiovision*).

Foram identificadas nas amostras 13 espécies, 3 gêneros e 1 família de copépodes, de duas ordens: Calanoida e Cyclopoida (Tabela 1). Foi realizada uma

busca bibliográfica por equações peso x comprimento para estas espécies e ordens. As equações peso x comprimento foram selecionadas em três graus de especificidade: Geral, Ordem e Específicas. A equação Geral estima o peso seco de copépodes de qualquer espécie, permitindo utilizar esta única equação para a amostra de copépodes como um todo. As equações de Ordem estimam o peso de copépodes de cada ordem separadamente, feito isso somamos o resultado obtido em cada estimativa para acharmos o peso seco total da amostra. Finalmente, as equações Específicas estimam o peso de cada espécie separadamente (ou grupo taxonômico mais próximo, quando as espécie-específicas não estavam disponíveis) e o peso total da amostra é obtido somando-se todas as estimativas. As equações foram selecionadas de acordo com a localidade onde foram feitas originalmente e espécies analisadas: isto é, foram escolhidas as equações obtidas em localidades cujas condições abióticas e a assembleia coletada se assemelham as encontradas na Baía de Guanabara. Quando mais de uma equação estavam disponíveis, foram selecionadas as que utilizaram maior número de indivíduos e/ou apresentaram maior coeficiente de determinação (R^2). Essas equações estão apresentadas na Tabela 1.

Histogramas foram feitos de cada amostra para obtenção da distribuição de comprimento dos copépodes da mesma. Com essa distribuição e os dados da contagem de indivíduos realizada anteriormente a densidade de cada classe de tamanho foi calculada. Utilizando as regressões selecionadas, o peso de cada espécie nas diferentes classes de tamanho foi estimado três vezes: uma com a equação “Copépodes Geral” de Ara, 2001, outra com uma das equações de Ordem de Chisholm, 1990, e uma terceira utilizando uma das equações Específicas de um dos diversos autores citados na aba “Referência” da Tabela 1. As estimativas de peso de espécie foram então somadas para obtenção do peso total da amostra e o peso do total de cada classe de tamanho dentro da amostra.

Tabela 6 Equações peso-comprimento selecionadas da literatura, seu grau de especificidade e referência.

PS=Peso Seco, CP=Comprimento do Prossoma, ln=Log Natural.

Especificidade	Regressão	Referência
Espécie <i>Acartia lilljeborgi</i>	$PS=(6,177*10^{-9})*CP^{3,029}$	Ara, 2001
Espécie <i>Acartia tonsa</i>	$PS=(9,622*10^{-9})*CP^{2,931}$	Ara, 2001
Espécie <i>Calanoides carinatus</i>	$\log(PS)=3,031*\log(CP)-7,99$	Myashita, 2009
Espécie <i>Calanopia americana</i>	$\ln(PS)=2,67*\ln(CP)-15,47$	Chisholm, 1990
Espécie <i>Clausocalanus furcatus</i>	$\ln(PS)=2,73*\ln(CP)-15,93$	Chisholm, 1990
Família Clausocalanidae	$\ln(PS)=2,78*\ln(CP)-16,52$	Myashita, 2009
Espécie <i>Labidocera fluviatillis</i>	$PS=(3,77*10^{-8})*CP^{2,637}$	Ara, 2001
Gênero <i>Paracalanus</i>	$\ln(PS)=2,78*\ln(CP)-16,52$	Webber, 1995
Espécie <i>Pseudodiaptomus acutus</i>	$PS=(1,306*10^{-9})*CP^{3,361}$	Ara, 2001
Espécie <i>Temora stylifera</i>	$PS=(1,471*10^{-8})*CP^{3,064}$	Ara, 2001
Espécie <i>Temora turbinata</i>	$PS=(1,471*10^{-8})*CP^{3,064}$	Ara, 2001
Espécie <i>Oithona hebes</i>	$PS=(3,405*10^{-10})*CP^{3,643}$	Ara, 2001
Espécie <i>Oithona oswaldocruzi</i>	$PS=(2,513*10^{-11})*CP^{4,113}$	Ara, 2001
Espécie <i>Oithona plumifera</i>	$\ln(PS)=1,68*\ln(CP)-10,2$	Webber, 1995
Gênero <i>Corycaeus</i>	$\ln(PS)=1,7*\ln(CP)-9,92$	Chisholm, 1990
Gênero <i>Hemicyclops</i>	$\ln(PS)=1,1*\ln(CP)-7,07$	Chisholm, 1990
Gênero <i>Oncaea venusta</i>	$\ln(PS)=1,68*\ln(CP)-11,63$	Webber, 1995
Ordem Calanoida	$\ln(PS)=2,74*\ln(CP)-16,41$	Chisholm, 1990
Ordem Cyclopoida	$\ln(PS)=1,96*\ln(CP)-11,64$	Chisholm, 1990
Copépodes Geral	$PS=(8,487*10^{-8})*CP^{2,693}$	K. Ara, 2001

Utilizando as 29 amostragens como réplicas, foram realizados testes *t-student* comparando o peso total de copépodes na amostra e o peso de cada classe de tamanho de cada ordem entre as duas redes. Análises de variância de medidas repetidas foram feitas visando comparar as estimativas de peso total de copépodes na amostra e o peso de cada classe de tamanho, das duas ordens e do total da amostra, utilizando os diferentes tipos de equações: Específicas, Ordens e Gerais.

Estes testes estatísticos foram feitos com o *software R* e os gráficos com os programas *Excel*. Para os testes estatísticos foi assumido rejeitar a hipótese nula com valores de $p < 0,05$.

Como os testes estatísticos mostram apenas se há diferença e não o tamanho da diferença ou como ela se comporta, também foi realizada uma comparação entre os resultados gerados pelas três equações utilizando dados do estudo de Ara (2001). Através do programa gratuito *GetData Graph Digitizer* foram extraídos, dos gráficos apresentados pelo autor, valores empíricos de peso e comprimento de prossomas determinados para nove espécies de copépodes. Esses valores extraídos foram aplicados nas equações Geral e de Ordem selecionadas na literatura para estimar o peso desses indivíduos. Posteriormente, as duas estimativas foram comparadas aos dados de peso empíricos extraídos de Ara (2001). Assim é possível avaliar o quanto o peso estimado é distante do peso empírico (real descrito em Ara, 2001), esses dados foram descritos utilizando o *software SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA)*.

Resultados

As equações escolhidas, bem como seu grau de especificidade, foram apresentadas na tabela 1.

Comparação da biomassa amostrada entre as redes mostrou diferenças significativas ($t = -2,0271$, $p < 0,05$ para a ordem Calanoida e $t = 2,9742$ $p < 0,001$ para Cyclopoida). A rede de 200 μ m teve tendência de subamostrar as menores classes de tamanho de copépodes (Figura 2) e, sabendo que a maior abundância de copépodes na Baía de Guanabara está nessa classe, excluimos essa rede das análises das equações.

Os resultados da Anova de medidas repetidas comparando os pesos estimados pelas equações específicas, gerais e de ordem das ordens Calanoida, Cyclopoida, e dos Copépodes somados são apresentados na tabela 2, resultados do teste *post-hoc* de Tukey, quando realizados, estão nas tabelas 3, 4 e 5.

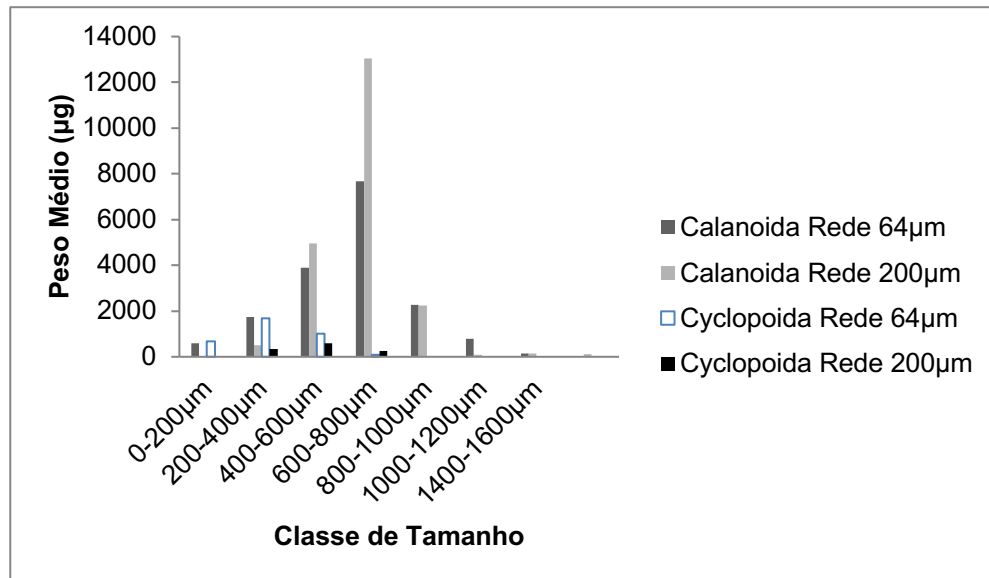


Figura 9 Média do peso estimado das diferentes classes de tamanho amostradas pelas redes de 64 e 200µm.

As estimativas de peso feitas pelas equações gerais e de ordem para a ordem Calanoida geraram resultados significativamente diferentes em todas as classes de tamanho e, conseqüentemente, no peso total. Porém, a estimativa gerada pela equação específica não apresenta diferenças significativas com a feita usando a geral nas classes 200-400 e 400-600µm. No mais, a equação de ordem gera resultados similares aos da equação específica na estimativa do peso total da amostra, apesar do teste de Tukey ter indicado diferenças significativas nas estimativas de todas as classes menos a de 600-800µm (Figura 3).

Tabela 7 Resultados da Anova comparando os pesos estimados pelas diferentes equações em cada classe de tamanho, bem como para o peso total das amostras, das ordens Calanoida, Cyclopoida e para todos os Copépodes. Resultados em negrito são significativos Indicam $p < 0,005$. Resultados com “**” são de amostras sem distribuição normal. O resultado com “***” representa a classe 600-800µm de Cyclopoida que não foi testada, pois não passou no teste de Levene, mesmo logaritimizada.

CLASSE DE TAMANHO	Peso Estimado Calanoida (p)	Peso Estimado Cyclopoida (p)	Peso Estimado Copépodes Totais (p)
0-200µm	<0,0001	<0,0001	<0,0001
200-400µm	<0,0001	<0,0001*	<0,0001
400-600µm	<0,0001	<0,0001	<0,0001
600-800µm	<0,0001	-.**	0,0546*
800-1000µm	<0,0001	-	-
1000-1200µm	0,1328*	-	-
Peso Total	0,0003	<0,0001	0,0283

Tabela 8 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para a ordem Calanoida. Resultados em negrito indicam $p < 0,05$. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Tukey (Calanoida)	0-200µm (p)	200-400µm (p)	400-600µm (p)	600-800µm (p)	800-1000µm (p)	Peso Total (p)
ESP-GER	<0,0001	0,4188	0,0526	0,0027	<0,0001	0,0252
ESP-ORD	<0,0001	<0,0001	0,028	0,4825	<0,0001	0,2746
GER-ORD	0,0049	0,0001	0,0001	0,0001	0,0005	0,0002

Tabela 9 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para a ordem Cyclopoida. Resultados em negrito são significativos. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Tukey (Cyclopoida)	0-200µm (p)	200-400µm (p)	400-600µm (p)	Peso Total (p)
ESP-GER	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
ESP-ORD	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
GER-ORD	<0,0001	<0,0001	0,5403	<0,0001

Tabela 10 Resultados do teste de Tukey para todas as classes com resultados da Anova significativos para Todos os Copépodes amostrados. Resultados em negrito são significativos. ESP=Equação específica, GER=Equação Geral, ORD=Equação de Ordem.

Tukey (Copépodes Totais)	0-200µm (p)	200-400µm (p)	400-600µm (p)	Peso Total (p)
ESP-GER	0,0002	0,0002	0,0006	0,5355
ESP-ORD	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0223
GER-ORD	0,0564	0,1254	0,3954	0,227

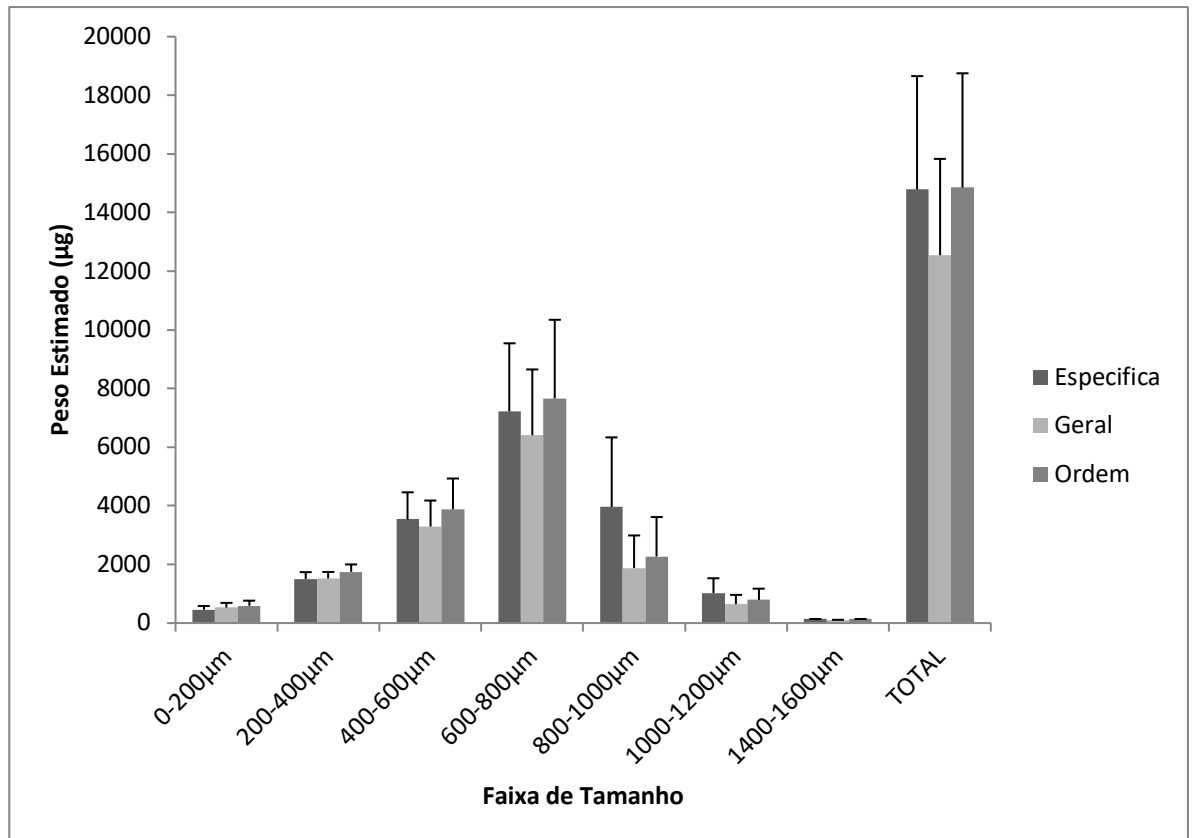


Figura 10 Média das estimativas do peso total das amostras e de duas classes de tamanho da ordem Calanoida, feitas usando as equações específica, geral e de ordem. As barras de erro indicam o Erro Padrão

Já para a ordem Cyclopoida as equações geram resultados mais variados, com a classe 400-600µm sendo superestimada em mais de 400% pelas equações de ordem e gerais em relação às específicas.

O teste de Tukey para essa ordem indica diferenças significativas entre todas as estimativas de peso total e de todas as classes de tamanho amostradas, com a exceção das estimativas calculadas usando as equações geral e de ordem para a classe 400-600µm (Figura 4). A figura 5 mostra o peso total estimado pelas três equações em cada amostra da ordem Cyclopoida e ilustra bem as diferenças encontradas pelos testes estatísticos, com a estimativa da equação de ordem sendo até 400% maior que a estimativa específica na amostra 9.

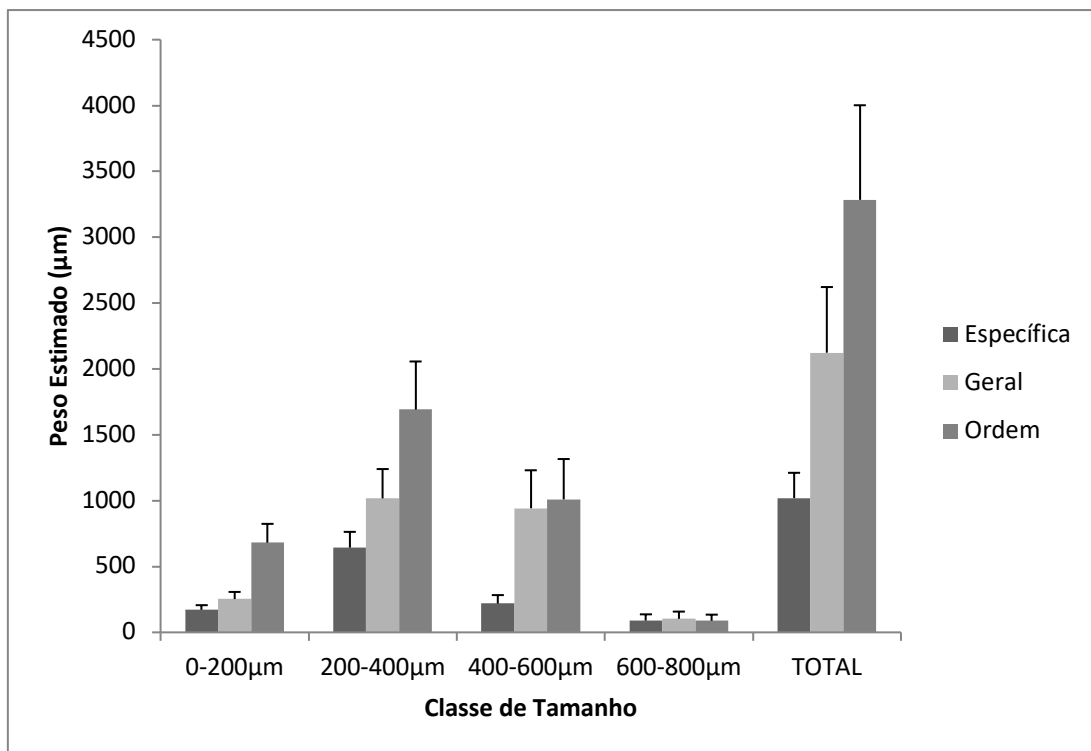


Figura 11 Média das estimativas do peso total das amostras e das diferentes classes de tamanho da ordem Cyclopoida, feitas usando as equações específica, geral e de ordem. As barras de erro indicam o Erro Padrão.

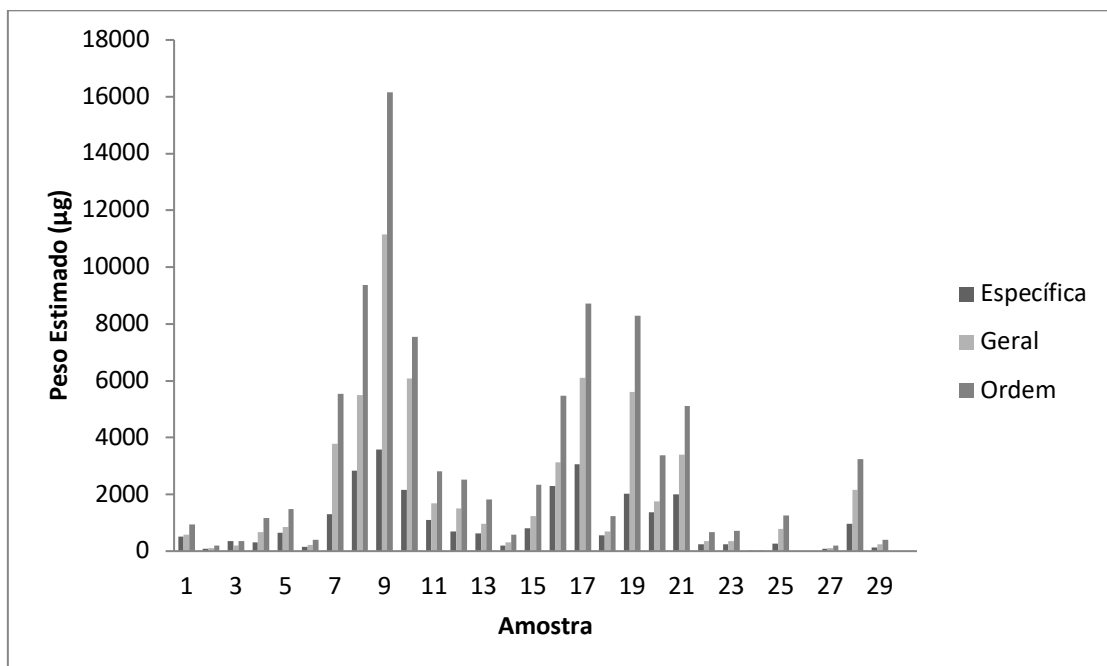


Figura 12 O peso estimado total de cada amostra demonstra as diferenças entre as três equações na ordem Cyclopoida, especialmente naquelas em que há maior densidade de indivíduos desse clado (7, 8, 9, 10, 16, 17, 19 e 21).

Análise dos gráficos plotados com os dados extraídos de Ara 2001 mostra que as equações geral e de ordem geram estimativas de próximas aos pesos reais da maioria das espécies medidas por ele exceção das espécies *Acartia tonsa* e *Temora turbinata* (Figura 6). *Acartia tonsa* teve seu peso superestimado por ambas as equações em espécimes de tamanho superior a 400µm (Figura 7), e *Temora turbinata* teve o peso subestimado, também por ambas as equações, em indivíduos de tamanho superior a 600µm (Figura 8). Esse resultado é ilustrado nos nossos dados (Figura 9): na data 18 há dominância de *Temora turbinata* e as equações geral e de ordem geram estimativas muito menores que a específica, o contrário ocorre na data 25, onde há dominância de *Acartia tonsa*.

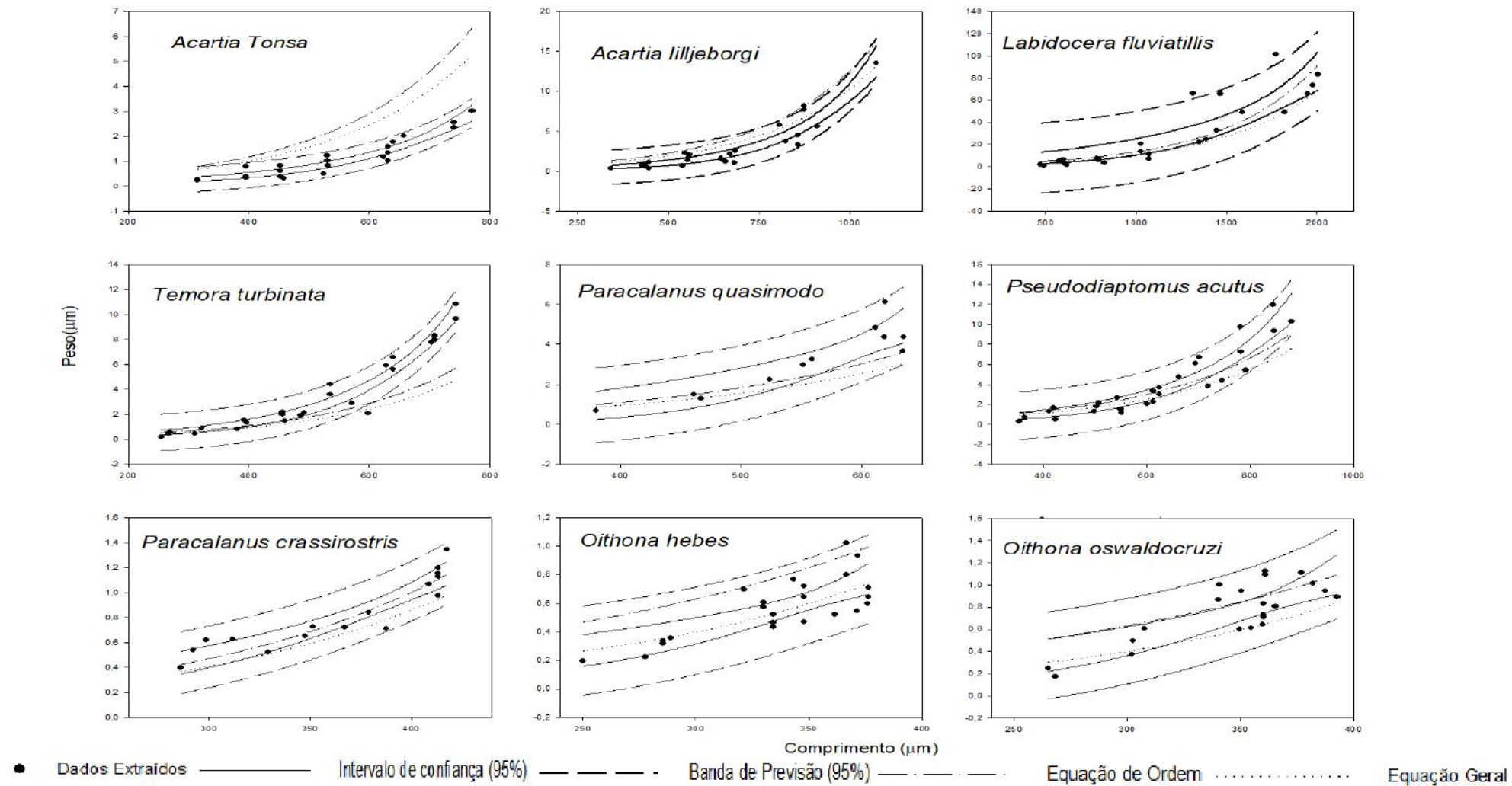


Figura 6 Dados extraídos de Ara 2001 de diferentes espécies de copépodes. As equações de ordem de Chisholm e a geral de Ara geram resultados próximos aos reais na maioria das espécies, salvo *Temora turbinata* e *Acartia tonsa*.

A

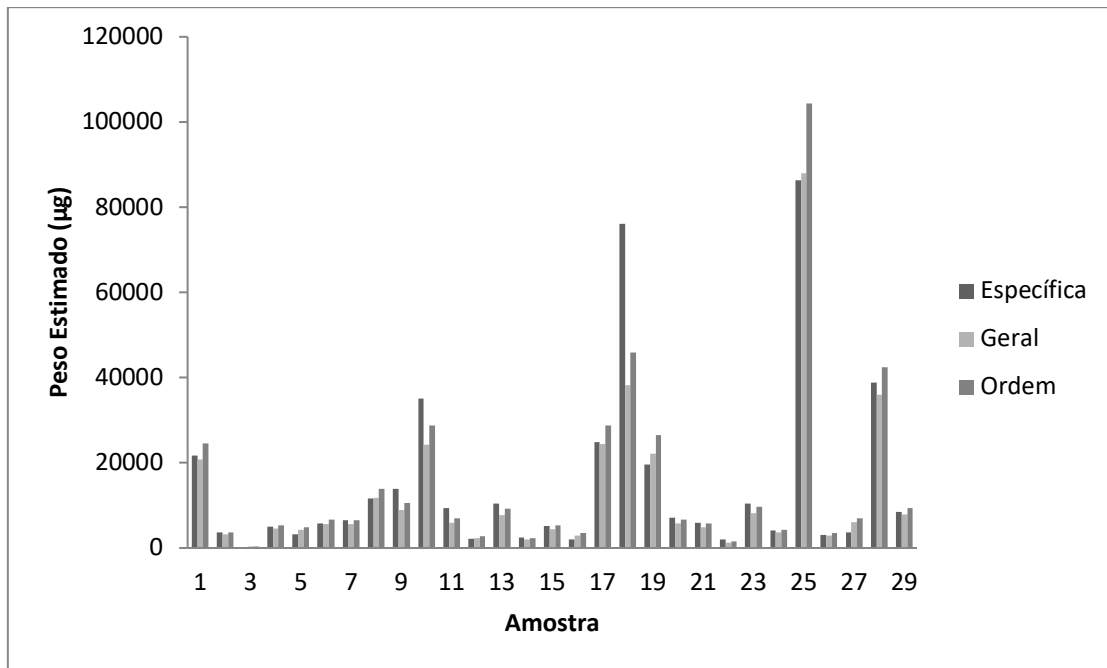


Figura 13 Peso estimado pelas equações específica, geral e de ordem de todas as espécies da ordem Calanoida coletadas em 29 datas. A data 18 teve dominância da espécie *Temora turbinata* e a data 25 teve dominância da espécie *Acartia tonsa*.

Discussão

Os resultados mostram que os diferentes tipos de equações podem gerar estimativas de peso significativamente diferentes em uma mesma amostra e classe de tamanho e, portanto, devem ser escolhidas com cautela. Em especial para a ordem Cyclopoida, onde as três equações geraram estimativas muito diferentes uma das outras em quase todas as classes de tamanho. Isso pode ter ocorrido devido ao plano de corpo muito variado da ordem, como alertado por Lawrence, 1987, ou variações da assembleia e/ou condições abióticas das áreas de onde essas regressões foram calculadas originalmente sejam diferentes das encontradas na Baía de Guanabara, onde realizamos nossas coletas, o que pode gerar variações nas relações peso-comprimento (Chisholm & Roff, 1990).

Hoffmeyer e Torres em 2001 indicaram que o uso de regressões para estimar o peso desses crustáceos não era recomendado fora da área e estação do ano em

que a regressão foi originalmente calculada e nossos resultados com a ordem Cyclopoida parecem corroborar essa afirmação, portanto a escolha da equação para quem realizar trabalhos futuros com essa ordem deve ser feita com cuidado e ressalvas. Alternativamente uma regressão local pode ser calculada para maior confiança, ou a estimativa do peso deve ser feita por outro método se possível.

A equação utilizada para a ordem Calanoida parece gerar estimativas de peso total da amostra mais próximos dos calculados usando as equações específicas, embora haja diferenças significativas entre as estimativas do peso das classes de tamanho. Esta regressão pode ser uma boa alternativa quando analisando o peso de uma amostra inteira, mas talvez não seja tão recomendada em estudos que precisem de estimativas mais precisas dos pesos de cada classe de tamanho, um estudo mais aprofundado seria necessário para determinar qual método (ordem ou específico) estima o peso com maior acurácia.

Os resultados de Calanoida (Tabelas 2 e 3, Figura 3) e da análise dos dados reais de Ara, 2001 (Figura 6) parecem contradizer Hoffmeyer e Torres, 2001, corroborada pelos resultados de Cyclopoida, ao mostrar que pelo menos a equação de ordem de Chisholm, 1990, calculada na Jamaica, funcionaria bem para estimar os pesos dos copépodes coletadas por Ara em São Paulo. Uma possível explicação para Calanoida ter tido equações com resultados similares entre si do que os resultados da ordem Cyclopoida é que a equação geral usada nesse trabalho foi calculada levando em conta mais espécies da primeira ordem do que da segunda. Além disso, a equação de ordem de Calanoida levou em conta mais espécies, e, por consequência, mais planos de corpo, que a equação de ordem de Cyclopoida.

Apesar dos resultados aqui apresentados mostrarem que há diferenças entre as equações, não é possível usa-los para indicar a melhor regressão para a Baía de

Guanabara, uma vez que não pesamos as amostras para verificar qual destas três abordagens seria a mais acurada. É intuitivo pensar que as equações específicas sejam as mais próximas da realidade, porém é possível que o erro acumulado de várias equações seja maior do que o erro de usar uma geral ou de ordem que não levem em consideração a variação no plano de corpo das diferentes espécies.

Assim como as espécies *Temora turbinata* e *Acartia tonsa* não foram bem estimadas com as equações mais generalizadas, é possível que outras espécies tenham esse problema com outras equações. A escolha da melhor regressão deve então ser feita levando em consideração um conhecimento prévio da assembleia local (Chisholm & Roff, 1990), densidade da amostra e também de acordo com o tipo e o escopo do estudo. Por exemplo, um estudo que apenas queira verificar a biomassa de copépodes poderia usar uma equação mais generalizada, já para um estudo em que os copépodes precisem ser separados em diferentes classes de tamanho, ou grupos funcionais, as equações específicas podem se fazer necessárias.

Outra problemática que merece atenção são as espécies que compõem uma equação de níveis taxonômicos altos. Muitos trabalhos utilizam essas regressões para amostras que contêm espécies que não fizeram parte da regressão original. Por exemplo, haverá um erro desconhecido se usarmos apenas uma equação para calcular o peso de uma amostra contendo espécies que não foram levadas em conta na regressão.

Além disso, muitos autores também não se atentam para a amplitude de tamanhos para os quais a regressão foi calculada. Estas equações não devem ser utilizadas para indivíduos de tamanhos maiores ou menores do que a classe medida

pelos pesquisadores que a geraram, uma vez que não estão calibradas para essas classes de tamanho.

Quando somamos as duas ordens de copépodes a estimativa da equação geral se aproxima mais da estimativa específica, ao mesmo tempo em que a de ordem se afasta da específica. É possível que o erro da equação de Cyclopoida, onde a equação de ordem chega a superestimar em até 400% o peso de uma amostra em relação à específica tenha tido grande influencia nesse resultado. Nesse caso, seria recomendável o uso da equação geral quando analisando apenas o peso total da amostra, mas talvez ainda fosse necessário o uso de equações específicas em estudos que precisem do peso exato de cada classe de tamanho.

Conclusões

- As estimativas geradas por diferentes equações geram resultados significativamente diferentes entre si para as amostras como um todo ou para algumas classes de tamanho.
- Não foi possível determinar qual dessas equações é melhor em estimar o peso dos copépodes da Baía de Guanabara, uma vez que não foram realizadas medições diretas do peso dos animais coletados.
- A escolha e o uso de uma regressão peso-comprimento devem levar em consideração diversos aspectos e não só os bióticos, como assembleia e composição de uma amostra, e abióticos, como condições climáticas e nível de nutrientes, mas também o escopo e nível de detalhamento de um projeto.

Recomendações

O método de estimativa de peso através de equações peso-comprimento é muito popular, pela facilidade de uso e seu baixo custo. Apesar dos problemas

demonstrados neste trabalho, elas devem ser consideradas importantes ferramentas em estudos tróficos, porém seu uso deve ser cauteloso. Uma possível solução para esses problemas seria a elaboração de equações “geométricas”, que considerem a forma de corpo do animal na hora do cálculo. Funcionando efetivamente como equações peso-área, esse tipo de equação seria pouco mais laborioso que o atual, uma vez que medidas de largura já são rotineiros em estudos tróficos, onde a maior acurácia das estimativas seria necessária. Em trabalhos que não necessitem de dados tão precisos, uma equação geral ou de ordem é adequada.

Referências bibliográficas

- Ara, K. 2001. Length-weight relationships and chemical content of the planktonic copepods in the Cananeia Lagoon estuarine system, Sao Paulo, Brazil. *Plankton Biology & Ecology*. 48 (2): 121-127.
- Bird, D.F.; -Prairie, Y.T. 1985. Practical guidelines for the use of zooplankton length-weight regression equations. *Journal of Plankton Research* 7 (6): 955-960.
- Chisholm, L.A.; Roff, J.C. 1990. Size-weight relationships and biomass of tropical neritic copepods off Kingston, Jamaica. *Marine Biology*, 106: 71-77.
- Franks, P.J.S. 2002. NPZ Models of Plankton Dynamics: Their Construction, Coupling to Physics, and Application. *Journal of Oceanography*, 58: 379-387.
- Hoffmeyer, M.S., Torres, E.R. 2001. Morphometric variables and individual volume of *Eurytemora americana* and *Acartia tonsa* females (Copepoda, Calanoida) from Bahía Blanca estuary, Argentina. *Hydrobiologia*, 459: 73-82.
- Hopcroft, R.R.; Roff, J.C.; Lombard, D. 1998. Production of tropical copepods in Kingston Harbour, Jamaica: the importance of small species. *Marine Biology*, 130: 593-604.

Huntley, M.E.; Lopez, M.D.G. 1992. Temperature-Dependent Production of Marine Copepods: A Global Synthesis.

Lawrence, S.G., Malley, D.F., Findlay, W.J., MacIver, M.A., Delbaere, I.L. 1987. Method for Estimating Dry Weight of Freshwater Planktonic Crustaceans from measures of Length and Shape. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44: 264-274.

Leal, M.C.; Ferrier-Pagès, C. 2016. Molecular trophic markers in marine food webs and their potential use for coral ecology. *Marine Genomics*, 29: 1-7.

Libralato, S.; Christensen, V.; Pauly, D. 2006. A method for identifying keystone species in food web models. *Ecological Modelling*, 195: 153-171.

Link, J. 2002. Does food web theory work for marine ecosystems?. *Marine Ecology Progress Series*, 230: 1-9.

McCauley, E. 1984. The Estimation of the Abundance and Biomass of Zooplankton in Samples. pp. 228-265. *In*: J. A. Downing & F. H. Rigler *A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*. IBP Hand Book, No. 17, 2nd edition,. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne. 500 pp.

Myashita, L.K.; Júnior, M.M.; Lopes, R.M. 2009. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. *Journal of Plankton Research*, 31 (8): 815-826.

Sardenne F.; Hollanda, S.; Lawrence, S.; Albert-Arrisol, R.; Degroote, M.; Bodin, N. 2017. Trophic structures in tropical marine ecosystems: a comparative investigation using three different ecological tracers. *Ecological Indicators*, 81: 315-324.

Schminke, H.K. 2007. Entomology for the copepodologist. *Journal of Plankton Research*, 29 (I): 1149-1162.

Suchy, K.D., Avila, T.R., Dower, J.F., Bianchini, A., Figueiredo, G.M. 2016. Short-term variability in chitobiase-based planktonic crustacean production rates in a highly eutrophic tropical estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 545: 77-89.

Turner, J.T. 2004. The Importance of Small Planktonic Copepods and Their Roles in Pelagic Marine Food Webs. *Zoological Studies*, 43(2): 255-266.